

Notas Científicas

Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo

Dilmar Baretta⁽¹⁾, Álvaro Luiz Mafra⁽²⁾, Julio Cesar Pires Santos⁽²⁾,
Cassandro Vidal Talamini do Amarante⁽²⁾ e Ildegardis Bertol⁽²⁾

⁽¹⁾Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Dep. de Solos e Nutrição de Plantas, Av. Pádua Dias, nº 11, CEP 13418-900 Piracicaba, SP. E-mail: baretta@esalq.usp.br ⁽²⁾Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Av. Luiz de Camões, 2.090, CEP 88520-000 Lages, SC. E-mail: a2alm@cav.udesc.br, a2jcps@cav.udesc.br, amarante@cav.udesc.br, a2ib@cav.udesc.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de sistemas de preparo e cultivo do solo sobre a diversidade de animais da fauna edáfica, por meio de técnicas de análise multivariada. Na análise canônica discriminante, os preparos conservacionistas com sucessão de culturas foram separados em relação aos tratamentos com rotação de culturas. Os grupos Acarina, Hymenoptera, Isopoda e Collembola, e o índice de Shannon (H) foram os atributos que mais contribuíram para separar os tratamentos. A análise de correspondência mostrou forte associação dos grupos Acarina e Hymenoptera com o tratamento semeadura direta com sucessão de culturas, e do grupo Collembola com o preparo convencional.

Termos para indexação: biodiversidade, bioindicadores, semeadura direta, preparo convencional, mesofauna, macrofauna.

Multivariate analysis of soil fauna under different soil tillage and crop management systems

Abstract – The objective of this work was to evaluate the effect of different soil tillage and crop management systems on soil fauna groups, by means of multivariate analysis. In the canonical discriminant analysis the conservation soil management systems with crop succession were discriminated in relation to other treatments with crop rotation. The groups Acarina, Hymenoptera, Isopoda, and Collembola, and the Shannon index (H) showed the highest contribution for the discrimination between treatments. The correspondence analysis showed a strong association between Acarina and Hymenoptera groups with the treatment no-tillage with crop succession, and between Collembola group with the conventional tillage system.

Index terms: biodiversity, bioindicators, no-tillage, conventional tillage, mesofauna, macrofauna.

As pesquisas no Brasil com variações na fauna edáfica, em resposta a sistemas de preparo, manejo e cultivo do solo são incipientes. Alguns estudos relatam a influência do manejo do solo (Baretta et al., 2003), da cobertura vegetal (Moço et al., 2005) e dos sistemas de preparo, sobre a fauna edáfica (Cividanes, 2002).

Diversos trabalhos na área de biologia do solo, especialmente sobre fauna do solo, têm utilizado técnicas de análise multivariada (Ter Braak, 1987; Baretta et al., 2003; Moço et al., 2005), a fim de buscar maior entendimento das relações existentes entre os componentes da fauna, além de identificar quais atributos biológicos mais contribuem para discriminar sistemas de manejo (Baretta et al., 2005).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de sistemas de preparo e cultivo do solo sobre grupos de animais da fauna edáfica, por meio de técnicas de análise multivariada.

O estudo foi realizado no Município de Lages, SC, a 27°49'S e 50°20'O, com altitude média de 937m. O relevo é suave ondulado, com declividade média de 0,102 m m⁻¹. O solo é Cambissolo Húmico alumínico léptico, argiloso, horizonte A moderado com substrato composto de siltitos e argilitos. O clima da região é mesotérmico úmido, com verões frescos (Cfb), segundo a classificação de Köppen. A precipitação pluviométrica média anual é de 1.408 mm, bem distribuída ao longo do ano, e a temperatura média anual é de 15,6°C (Embrapa, 2004).

A área experimental era, inicialmente, coberta com gramíneas nativas e, posteriormente, utilizada com pastagem cultivada por quatro anos. Na implantação do experimento, o solo foi corrigido com 12 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico, incorporado com duas arações, a 20 cm de profundidade, e duas gradagens, a 15 cm de profundidade. Foram utilizados quatro tratamentos de preparo do solo, distribuídos ao acaso, entre outubro 1988 e novembro 1991, cultivados com milho/trigo/milho/pousio. Em outubro de 1992, a área foi novamente preparada para a reinstalação do experimento, tendo sido feita nova calagem com 3,5 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico, incorporado com uma aração e duas gradagens. A partir daí, a área vem sendo cultivada com rotação e sucessão de culturas, conforme descrito por Bertol et al. (2002).

Os tratamentos constaram de sistemas de preparo do solo, que foram: preparo convencional (PC), cultivo mínimo (CM) e semeadura direta (SD), combinados com sistemas de cultivo em rotação (rc) e sucessão de culturas (sc). Como testemunha, foi utilizado solo sob preparo convencional, mantido permanentemente livre de vegetação e de crosta superficial (SC_s). O PC foi realizado com uma aração e duas gradagens, e no CM foram efetuadas uma escarificação e uma gradagem. A sucessão de culturas empregada foi trigo (*Triticum aestivum*) no outono e soja (*Glycine max*) na primavera. A rotação de culturas foi soja, feijão (*Phaseolus vulgaris*) e milho (*Zea mays*) no verão, e aveia-preta (*Avena sativa*), ervilhaca (*Vicia sativa* L.), trigo e nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) no inverno. O manejo das culturas na área experimental foi realizado conforme descrito em Bertol et al. (2002). As parcelas têm 22,1 m de comprimento e 3,5 m de largura.

Para a avaliação da fauna edáfica, foram realizadas seis coletas nos meses de fevereiro, abril, junho, agosto, outubro e dezembro de 2001, e a média das épocas empregada na análise estatística dos dados. Na captura dos animais, utilizaram-se armadilhas do tipo “trampas de Tretzel”, constituídas por recipientes cilíndricos de 8 cm de diâmetro, enterrados no solo com sua extremidade vazada nivelada com a superfície do solo, mantidos por três dias no campo, com 200 mL de uma solução de formol, na concentração de 2% (Baretta et al., 2003). As armadilhas foram distribuídas aleatoriamente na primeira coleta, e mantidas no mesmo local para as coletas seguintes, num total de seis armadilhas para cada parcela. Após a retirada das armadilhas, as amostras foram passadas em peneiras

com malhas de 0,20, 0,15 e 0,10 mm, para separar o solo e os fragmentos vegetais. Os indivíduos extraídos nas armadilhas foram conservados em álcool etílico e identificados quanto à classe ou ordem, com auxílio de microscópio estereoscópico, com aumento de 40 vezes.

A diversidade dos animais foi expressa pelo índice de diversidade de Shannon (H), índice de uniformidade de Pielou, índice de dominância de Simpson (Is) e número de grupos (NG) (Odum, 1983). Os grupos de animais com maior frequência (Collembola, Acarina, Hymenoptera, Araneae, Coleoptera, Isopoda e Orthoptera) foram separados individualmente. Os demais animais, que apresentaram menor frequência relativa (Homoptera, Blattodea, Griloblatodea, Oligochaeta, Chilopoda, Lepidoptera, Dermaptera, Diplura, Protura e Hemiptera), foram agrupados como “outros”.

Os resultados foram submetidos à análise canônica discriminante (ACD), tendo-se calculado os coeficientes da taxa de discriminação paralela (TDP), com base nos coeficientes canônicos padronizados (CCP) e de correlação (r) ($TDP = CCP \times r$). Os valores dos CCP, nas distintas funções discriminantes canônicas, foram submetidos ao teste de comparação de médias, a fim de se identificar diferenças entre os diferentes tratamentos, por meio do teste de LSD ($p < 0,05$), conforme sugestão de Cruz-Castillo et al. (1994). Adicionalmente, realizou-se análise de correspondência (AC) (Ter Braak, 1987) entre atributos de diversidade da fauna edáfica e sistemas de preparo e cultivo do solo. As análises multivariadas foram feitas com o SAS (SAS Institute, 1990).

O modelo multivariado, utilizado para avaliar a diversidade da fauna edáfica nos diferentes sistemas de manejo do solo, explicou boa parte da variabilidade biológica presente na área, uma vez que a primeira e a segunda funções canônicas discriminantes (FCD₁ e FCD₂) apresentaram correlações canônicas de 65 e 46%, respectivamente. A contribuição individual de cada grupo de animais para a separação dos tratamentos é expressa pelos coeficientes da taxa de discriminação paralela (TDP), que resultam do produto entre os coeficientes canônicos padronizados e de correlação.

Para a FCD₁, os grupos Acarina e Hymenoptera apresentaram os maiores valores positivos de coeficientes TDP, correspondentes a 0,27 e 0,15 (Tabela 1), o que demonstra que o maior grau de dissimilaridade dos tratamentos é explicado, principalmente, por estes dois grupos de organismos. Todavia, a diversidade de ácaros edáficos no Brasil é

pouco conhecida, em razão do número restrito de especialistas e de publicações científicas sobre o assunto (Flechtman & Moraes, 2000). O grupo Hymenoptera, representado neste trabalho principalmente pelas formigas, compreende insetos terrestres comumente citados como bioindicadores de alterações no manejo do solo, especialmente durante a reabilitação do solo (Andersen et al., 2002). Na FCD₁, o índice de dominância de Simpson (Is) foi o atributo ecológico que apresentou maior valor de TDP (0,40), tendo-se mostrado relevante na separação entre os tratamentos estudados. O índice de diversidade de Shannon (H) e o número de grupos (NG) apresentaram, para esta função canônica, valores de coeficiente TDP muito baixos, 0,05 e 0,09, respectivamente, tendo apresentado baixíssima contribuição para a separação entre os tratamentos. Na FCD₂, os grupos Isopoda, Diptera (grupo considerado não edáfico) e Collembola apresentaram maiores valores de coeficiente TDP, 0,41, 0,12 e 0,11, respectivamente (Tabela 1).

A relação entre a FCD₁ e FCD₂, referente aos coeficientes canônicos padronizados (CCP) dos atributos da fauna edáfica, voltados à discriminação dos diferentes sistemas de manejo, evidenciou que a FCD₁ explicou a maior parte da variação total (55%), enquanto que a FCD₂ explicou apenas 20% (Figura 1). O teste

multivariado de Wilk's Lambda indicou diferença significativa entre os sistemas de preparo e cultivo do solo, tanto na FCD₁ quanto na FCD₂ (Tabela 2). Neste caso, os atributos da fauna edáfica mostraram relação com as modificações no solo, decorrentes dos sistemas de manejo. Na FCD₁, os tratamentos com sucessão de culturas (CM_{sc} e SD_{sc}) apresentaram maiores valores de CCP, em comparação aos tratamentos com rotação de culturas (PC_{rc} CM_{rc} e SD_{rc}) e ao tratamento mantido sem cobertura (SC_s). Assim, os tratamentos CM_{sc} e SD_{sc}, que apresentaram os maiores valores de Is e de grupos Acarina e Hymenoptera, foram os que mais contribuíram nesta discriminação entre sistemas. Apesar de a FCD₂ explicar apenas 20% da variação, esta função discriminou possíveis efeitos que o sistema de preparo e cultivo do solo teriam sobre os atributos da fauna edáfica, especialmente sobre os grupos Isopoda e Collembola.

O estudo da relação entre a distribuição de indivíduos de cada grupo taxonômico e os tratamentos de preparo e cultivo do solo foi realizado por meio de uma ordenação gerada pela análise de correspondência (AC). De acordo com Ter Braak (1987), este método de ordenação

Tabela 1. Taxa de discriminação paralela (TDP) para as funções canônicas discriminantes 1 (FCD₁) e 2 (FCD₂), referentes aos grupos mais frequentes de organismos e diversidade da fauna edáfica, na região de Lages, SC, 2001. Média de 36 repetições, em seis épocas de coleta.

Grupos mais frequentes	FCD ₁	FCD ₂
Collembola	-0,0128	0,1055
Acarina	0,2751	0,0842
Hymenoptera	0,1537	0,0450
Aranae	-0,0234	0,0263
Coleoptera	0,0184	0,0005
Isopoda	0,0226	0,4075
Diptera ⁽¹⁾	0,0196	0,1225
Orthoptera	0,0125	0,0777
Outros ⁽²⁾	-0,0042	-0,0194
Diversidade da fauna edáfica		
NG ⁽³⁾	0,0870	0,0309
Is ⁽⁴⁾	0,3979	0,0552
H ⁽⁵⁾	0,0535	0,0642

⁽¹⁾Grupo não considerado da fauna edáfica (não edáfico).

⁽²⁾Outros: somatório dos grupos de organismos menos frequentes.

⁽³⁾Número de grupos (riqueza de grupos da fauna edáfica). ⁽⁴⁾Índice de dominância de Simpson. ⁽⁵⁾Índice de diversidade de Shannon.

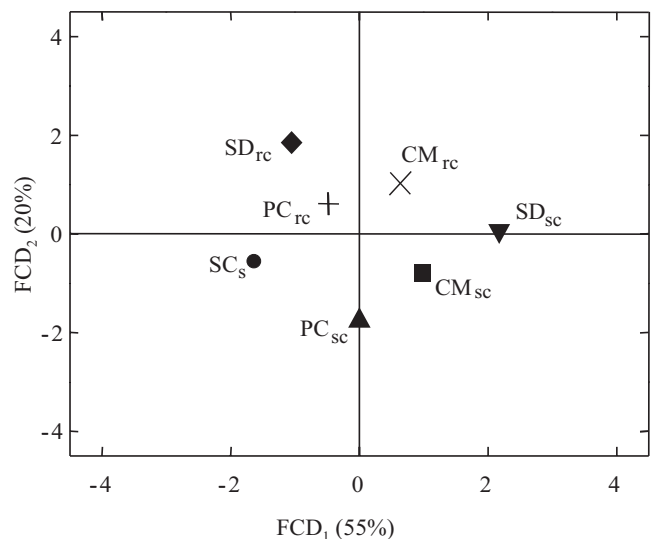


Figura 1. Relação entre a primeira (FCD₁) e a segunda função canônica discriminante (FCD₂), para os diferentes tratamentos de preparo e cultivo do solo, referentes aos coeficientes canônicos padronizados (CCP) dos atributos da fauna edáfica analisados. Média de 36 repetições, em seis épocas de coleta. SC_s: solo sem cultivo; CM: cultivo mínimo; SD: semeadura direta; PC: preparo convencional; sc: sucessão de culturas; rc: rotação de culturas.

synetiza num gráfico (Figura 2), com dimensões perpendiculares, a variação multidimensional de um conjunto de variáveis. As dimensões 1 e 2 corresponderam a 66 e 20% da inércia total, respectivamente, o que representa 86% da variabilidade total dos dados (Figura 2). Ao longo da dimensão 1 (eixo

Tabela 2. Teste de comparação de médias dos coeficientes canônicos padronizados (CCP), para todos os atributos da fauna edáfica analisados na primeira (FCD_1) e na segunda função canônica discriminante (FCD_2), nos diferentes tratamentos de preparo e cultivo do solo, na região de Lages, SC, 2001. Média de 36 repetições, em seis épocas de coleta⁽¹⁾.

Tratamento	FCD_1	FCD_2
SC _s	-1,4566e	-0,5110cd
PC _{sc}	0,0460c	-0,5792d
PC _{rc}	-0,2284cd	0,2749ab
CM _{sc}	0,6943b	-0,4472cd
CM _{rc}	0,2016c	0,7363a
SD _{rc}	-0,6192d	0,6513a
SD _{sc}	1,3951a	-0,0681bc

⁽¹⁾Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$); SC_s: solo sem cultivo; PC: preparo convencional; CM: cultivo mínimo; SD: semeadura direta; sc: sucessão de culturas; rc: rotação de culturas.

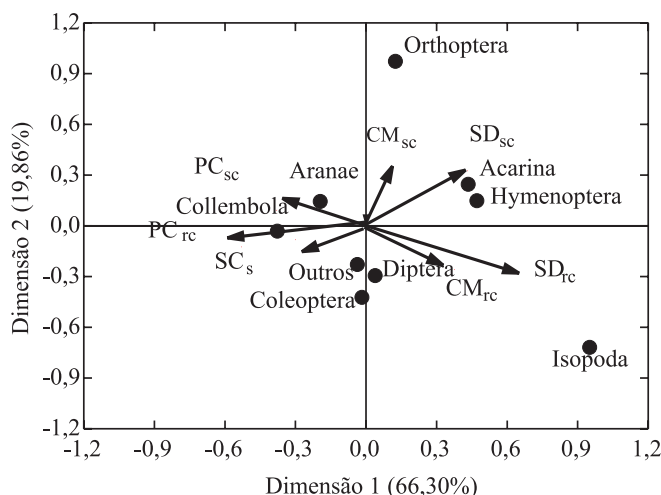


Figura 2. Representação gráfica da análise de correspondência entre tratamentos de preparo e cultivo do solo e os principais grupos de organismos da fauna edáfica. Média de 36 repetições, em seis épocas de coleta. SC_s: solo sem cultivo; CM: cultivo mínimo; SD: semeadura direta; PC: preparo convencional; sc: sucessão de culturas; rc: rotação de culturas; ●: grupos de organismos da fauna edáfica.

principal), os tratamentos SD estão dispostos na porção mais extrema à direita (com valores positivos), os tratamentos CM na porção mediana (também com valores positivos), enquanto sistemas de preparo convencional estão dispostos na porção esquerda (com valores negativos), o que mostra clara separação entre sistemas, quanto ao seu impacto na estrutura do solo, e distribuição dos resíduos culturais na camada arável. O grupo Isopoda apresentou maior associação com o tratamento de SD_{rc}, enquanto os grupos Acarina e Hymenoptera apresentaram maior associação com o tratamento SD_{sc}. Os sistemas de preparo convencionais, em sucessão e rotação de cultura, apresentaram forte associação com o grupo Collembola e, em menor escala, com o grupo Araneae. Os grupos Diptera (grupo considerado não edáfico) e Coleoptera (além de outros grupos) apresentam pouca contribuição à inércia total, uma vez que estão localizados na porção mediana do eixo 1.

Neste estudo, a AC indicou que a permanência, o estabelecimento e os grupos da fauna edáfica presentes são sensíveis às operações de preparo e cultivo do solo. A maior ou menor associação de um determinado grupo da fauna edáfica, em cada tratamento, deve-se ao tipo de preparo do solo e, principalmente, aos efeitos benéficos dos resíduos vegetais mantidos na superfície do solo, que proporcionaram ambiente mais favorável para a sobrevivência de determinados grupos (Moço et al., 2005).

De maneira geral, os resultados obtidos no presente estudo evidenciam que a fauna do solo pode ser utilizada como bioindicador das alterações advindas do manejo do solo, especialmente pelo emprego de ferramentas estatísticas multivariadas.

A análise discriminante identificou os grupos Acarina, Hymenoptera, Isopoda e Collembola como os que mais contribuíram para discriminar sistemas de preparo e cultivo do solo, pela separação dos tratamentos de semeadura direta e preparo reduzido do solo, com sucessão de culturas, dos demais tratamentos, com rotação de culturas.

A análise de correspondência, além de separar os tratamentos, demonstrou associações entre os grupos da fauna edáfica e os sistemas de manejo do solo. A partir da identificação destes grupos de organismos, podem-se desenvolver estudos complementares, com maior detalhamento taxonômico, para se verificar a contribuição desses animais, em termos de serviços ecológicos no solo, o que ampliaria sua utilização como bioindicadores da qualidade do solo.

Referências

- ANDERSEN, A.; BENJAMIN, D.H.; MÜLLER, W.; GRIFFITHS, A.D. Using ants as bioindicators in land management: simplifying assessment of ant community responses. **Journal of Applied Ecology**, v.39, p.8-17, 2002.
- BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; FIGUEIREDO, S.R.; KLAUBERG-FILHO, O. Efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no Planalto Sul Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.715-724, 2005.
- BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; MAFRA, A.L.; WILDNER, L.P.; MIQUELLUTI, D.J. Fauna edáfica avaliada por armadilhas de catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.2, p.97-106, 2003.
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para milho e aveia em rotação com outras culturas em três sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.545-552, 2002.
- CIVIDANES, F.J. Efeitos do sistema de plantio e da consorciação soja-milho sobre artrópodes capturados no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.15-23, 2002.
- CRUZ-CASTILLO, J.G.; GANESHANANDAM, S.; MacKAY, B.R.; LAWES, G.S.; LAWOKO, C.R.O.O.; WOOLLEY, D.J. Applications of canonical discriminant analysis in horticultural research. **HortScience**, v.29, p.1115-1119, 1994.
- EMBRAPA SOLOS. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro, 2004. 726p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 46).
- FLECHTMANN, C.H.W.; MORAES, G.J. Biodiversidade de ácaros no Estado de São Paulo. In: BRANDÃO, R.F.; CANCELLO, E.M. (Ed.). **Biodiversidade do Estado de São Paulo, Brasil: síntese do conhecimento do final do século XX**, 5: invertebrados terrestres. São Paulo: Fapesp, 2000. p.58-63.
- MOÇO, M.K.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; CORREIA, M.E.F. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.555-564, 2005.
- ODUM, E.P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1983. 434p.
- SAS INSTITUTE (Cary, Estados Unidos). **SAS versão 6.12**. Cary, 1990. 2v.
- TER BRAAK, C.J.F. The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis. **Plant Ecology**, v.69, p.69-77, 1987.

Recebido em 10 de abril de 2006 e aprovado em 27 de julho de 2006